

NEUES VERFAHREN UND GERÄT ZUR PROBEENTNAHME BEI DER UNTERSUCHUNG VON WURZELMASSEN DER KULTURPFLANZENBESTÄNDE

Von

A. KOVÁCS — und Z. GÁSPÁR

Eötvös Loránd Universität, Budapest; Universität der Agrarwissenschaften, Gödöllő

Eingegangen: 2. Dezember 1975

Die Wurzel ist ein sehr wichtiges Organ der Pflanze: sie befestigt sie im Boden, leitet ihr Wasser und die im Wasser gelösten Nährstoffe zu, die sie zuweilen auch speichert, ferner sichert auch die Erneuerung der Pflanze (bei zweijährigen oder perennierenden Pflanzen), schafft physiologische Verbindungen (Symbiose) zu den niedrigeren Pflanzen (Pilze, Bakterien) und kann durch ihre Lebensfunktion (chemische, physikalische Wirkung) nicht nur die einzelnen Charakteristika des Bodens (Struktur, pH, Humusgehalt usw.), sondern auch die Populationszusammensetzung (Allelopathie) der auf dem gegebenen Standort vorkommenden anderen Arten verändern.

Die Ausbildung des Wurzelsystems hängt von den biologischen Eigenartigkeiten der Pflanzenarten und den Bedingungen des Standortes ab. Größe, Masse, Tiefenverhältnisse des Wurzelsystems, Dichtheit der Seitenwurzeln und Zahl der Saugwurzeln wechselt mit dem Wasser- und Nährstoffgehalt des Bodenniveaus.

Das Wurzelsystem ist das sich am dynamischsten entwickelnde und plastische Organ der Pflanze. Abweichend vom überirdischen Teil der Pflanze, der sich von den auf die Luft wirkenden (physikalischen, biotischen) Faktoren abhängig entwickelt, muß das Wurzelsystem in einem verhältnismäßig geschlossenen Mittel (Boden) derart seine physiologische Aufgabe erfüllen, damit es die Wechselwirkungen zwischen den beiden Organen, das physiologische und dynamische Gleichgewicht harmonisch zur Entwicklung bringen kann. Der Boden, als System von drei Dimensionen drückt durch seine Charakteristika sein Gepräge auf und beeinflusst nicht nur die Form, Masse, Länge und Resorptionsfläche der Wurzeln, sondern auch von dem überirdischen Teil abhängig den Rhythmus, die Richtung des Wachstums und die Lebensdauer. Während der überirdische Teil der Pflanze relativ gleichmäßig seine für die Arteigenheit charakteristische Phytomasse ausbildet, geht dieser Prozeß in der Entwicklung des Wurzelsystems, infolge der vorhandenen Bedingungen der

raschen Entstehung sowie des raschen Absterbens der Zellen und Gewebe zuweilen sprunghaft vor sich. Insbesondere das Absterben erschwert die Untersuchung des Wurzelsystems und knüpft diese an einen fix bestimmten Zeitpunkt, demzufolge die auf diese Weise gewonnenen Ergebnisse von verhältnismäßig relativem Charakter sind.

Bezüglich der Größe und der Tiefe des Wurzelsystems gewinnen wir ein falsches Bild, falls wir dieses samt der Pflanze einfach aus dem Boden ziehen, denn hierbei reißen die feineren Wurzeln ab und bleiben im Boden zurück. Die ersten zuverlässigen Angaben über die wahren Maße, die wichtigeren Verzweigungen der Wurzeln erbrachten die genauen Untersuchungen von Rotmistrov (1910) und Weaver (1950). Sie haben nachgewiesen, daß sich z. B. beim Hafer und beim Weizen das Wurzelsystem nicht nur bloß auf die gepflügte Bodenschicht beschränkt, sondern auch in 1,5–2 m-Tiefe hinunterdringt und sich in alle Richtungen verbreitet. Viel tiefer dringen die Wurzeln der Luzerne und der Pflanzen arider Standorte. Die Gesamtlänge der Wurzeln kann – mit ihren sämtlichen Verzweigungen zusammen – selbst bei jungen Pflanzen nur in Kilometerlänge gemessen werden. Infolge der großen Entwicklung der Wurzelhaare wächst die Saugfläche der Wurzeln auf das Vielfache an. Dieses mächtige Saugflächensystem ermöglicht, daß die Pflanze die im Boden ungleichmäßig verteilte Nässe und die Nährstoffe verwerten kann.

Dittmer (1927, 1938) hat in seinen Experimenten mit Winterroggen nachgewiesen, daß das Wurzelsystem zur Blütezeit mächtige Ausmaße erreicht. Die Zahl der Wurzeln einer einzigen Roggenpflanze beträgt 14 Millionen, mit einer Länge von 600 km, ihre Oberfläche ist 400 m² groß, was etwa dem 130fachen der Oberfläche der überirdischen Pflanzenteile entspricht. Seiner Meinung nach ist die Länge der Wurzeln durchschnittlich um 5 km, während die der Wurzelhaare um 80 km/Tag gewachsen.

Diese Daten untermauern die Tatsache, daß das Wurzelsystem einen eigenartigen Entwicklungsrhythmus und -charakter hat, der sowohl die Wahl der experimentellen Methoden, wie auch den relativen Wert der gewonnenen Ergebnisse bestimmt.

Ziel und Bedeutung der Erforschung des Wurzelsystems

Die morphologischen und strukturellen Charakteristika des Wurzelsystems der Pflanzen werden von biologischen, spezifischen und ökologischen Faktoren bestimmt. Vom Gesichtspunkt der Forschung bildet die Untersuchung des Wurzelsystems einen organischen Teil der produktionsbiologischen Untersuchungen, deren Zielsetzung die Erschließung der Wechselwirkungen zwischen den über- und unterirdischen Organen der Pflanze (des Pflanzenbestandes) ist.

Da wir die ökologischen Faktoren bei den Kulturpflanzen mit agrotechnischen Eingriffen in positive Richtung beeinflussen, erweitert sich dies bei den Kulturpflanzen insofern, daß uns die Analysierung der über- und unterirdischen Phytomasse sowie der zwischen diesen be-

stehenden Wechselwirkung eine Möglichkeit bietet, um diese Wirkungen bezüglich des Pflanzenbaues auswerten zu können.

Von methodischem Gesichtspunkt können wir die biomorphologischen Eigenartigkeiten der Pflanzen in Betracht genommen, die Untersuchung des Wurzelsystems sowohl auf dem Niveau der individuellen Pflanze, wie auch auf dem des Bestandes (der Vergesellschaftung) untersuchen. Bei den sich auf das Individuum beziehenden Forschungen werden jene Methoden angewendet, die die vollständige Auspräparierung des Wurzelsystems sichern, was zu einem gegebenen Zeitpunkt die Feststellung der Gesamtphytomasse der Pflanze sowie den Vergleich der über- und unterirdischen Pflanzenteile ermöglicht (Précsényi 1967, Stoecler-Kluender 1939, Taranowskaja 1957).

Im Falle der Bestandsuntersuchungen — die auch wir zum Ziele gesteckt haben — (sei es ein natürlicher oder gezüchteter Pflanzenbestand), untersuchen und werten wir die unter- und überirdischen Teile der in einer Flächeneinheit (dm^2 , m^2 , ha) vorkommenden Phytomasse aus (Rotmistrow 1910, Troughton 1957, Weaver 1919). In diesem Falle fällt der Wahl der Methode und der Versuchsinstrumente vom Gesichtspunkt der zuverlässigen Auswertung des experimentellen Materials eine besondere Bedeutung zu.

Bei Bestandsuntersuchungen studieren wir das Wurzelsystem mit der Bodenmonolithmethode. Hier bildet die Anwendung der Form des Bodenmonolithes (zylindrische oder quadratische Säule), seines Kubikinhaltes (cm^3) und der Auspräparierungsmethode der Wurzeln (fixiert oder in einem auf beweglichen Ständer montierten Siebsystem, trocken oder mit Wasser, globale oder sektioniert erfolgende Trennung) eine prinzipielle Frage (Kovács — Gáspár 1975).

Die bisherigen Experimente haben bewiesen, daß die zuverlässigsten Ergebnisse im Falle von natürlichen und ausgesäten Rasen sowie bei den im Bestand der Kulturpflanzen durchgeführten Wurzeluntersuchungen die aus säulenförmig-quadratischen Bodenmonolithen großen Volumens ausgewaschenen Wurzeln, mit serienmäßiger und sektionierter Wertung liefern (Stoecler — Klunder 1939, Tharp — Müller 1940, Weaver 1919).

Beschreibung der von uns gebrauchten Methode und Geräte

Unsere Phytomassenuntersuchungen haben wir in Szárítópuszta, auf dem Versuchsfeld der Universität der Agrarwissenschaften, Gödöllő in der Vegetationsperiode der Jahre 1973–1975 durchgeführt.

Die von uns ausgearbeitete Methode und die Versuchsinstrumente können mit erwünschter Ausführlichkeit bei der Untersuchung der über- und unterirdischen Phytomassenproduktion sowohl der mit breitem Abstand (z.B. Mais), wie auch der dicht ausgesäten Kulturpflanzenbestände (z.B. Ährenpflanzen) oder auch der natürlichen wie gesäten Rasen mit Erfolg angewendet werden.

Innerhalb eines angegebenen Pflanzenbestandes muß die Probefläche derart ausgewählt werden, daß diese vom Gesichtspunkt der Bodenkunde homogen, der Pflanzenbestand gleichmäßig (charakteristisch) und frei von Unkraut sei. Die Form der Probefläche ist ein gleichschenkliges Dreieck von wechselnder Größe und Probezahl, das vom Habitus, von der Bedeckung und vom Reihenabstand der Pflanzen abhängt. Entlang der Basis des gleichschenkligen Dreieckes müssen kontinuierlich, miteinander zusammenhängende Proben von ungerader Zahl entnommen, im weiteren in jeder von den Maßen des Probennehmers festgesetzten zweiten Reihe in schachbrettförmig abnehmender Ordnung die weiteren Monolithe herausgenommen werden, bis man bei der Spitze des Dreieckes eine Probe herausheben kann (Abb. 1.)

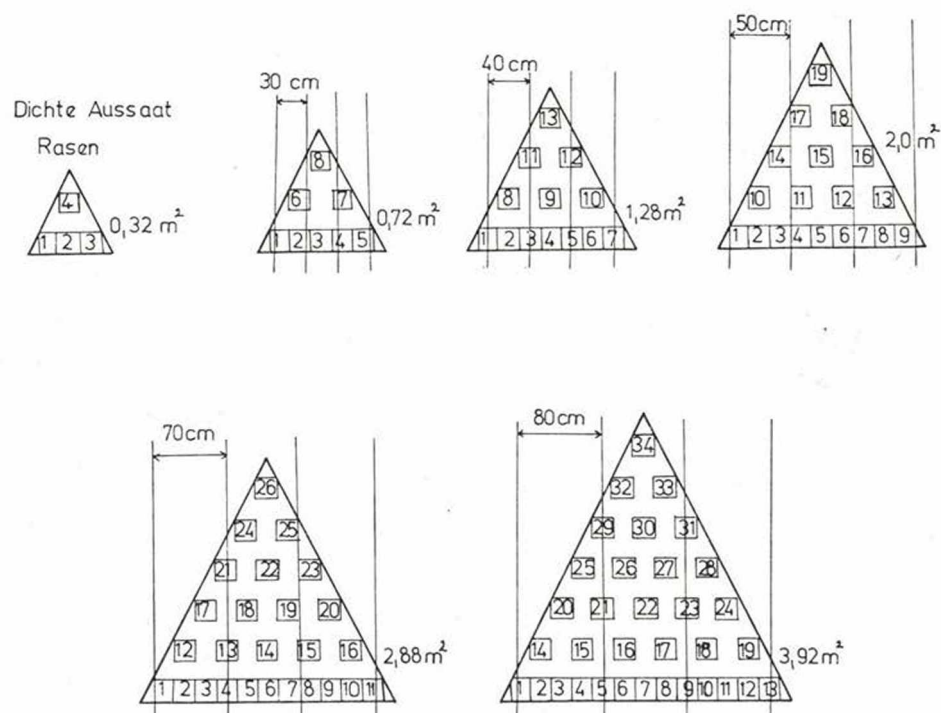


Abb. 1. Die möglichen Variationen der Probeflächen und des Probeentnahmesystems bei dichter Aussaat (Rasen), und verschiedene Reihenabstände ($0,72 - 3,92 \text{ m}^2$). Reihenabstand, □: Zahl und Ort des $20 \times 20 \text{ cm}$ großen Monoliths, rechts: Größe der Probefläche (m^2), senkrechte Linien: Reihenrichtung

Abweichend von den allgemein angewandten kleinen ($1 - 4 \text{ dm}^3$) Probennehmern haben wir — die Zielsetzungen der Bestandsuntersuchung in Betracht gezogen — mit einem 10 m^3 großen Probennehmer gearbeitet, dessen Maße $20 \times 20 \times 25 \text{ cm}$ sind. Der Probennehmer besteht aus drei

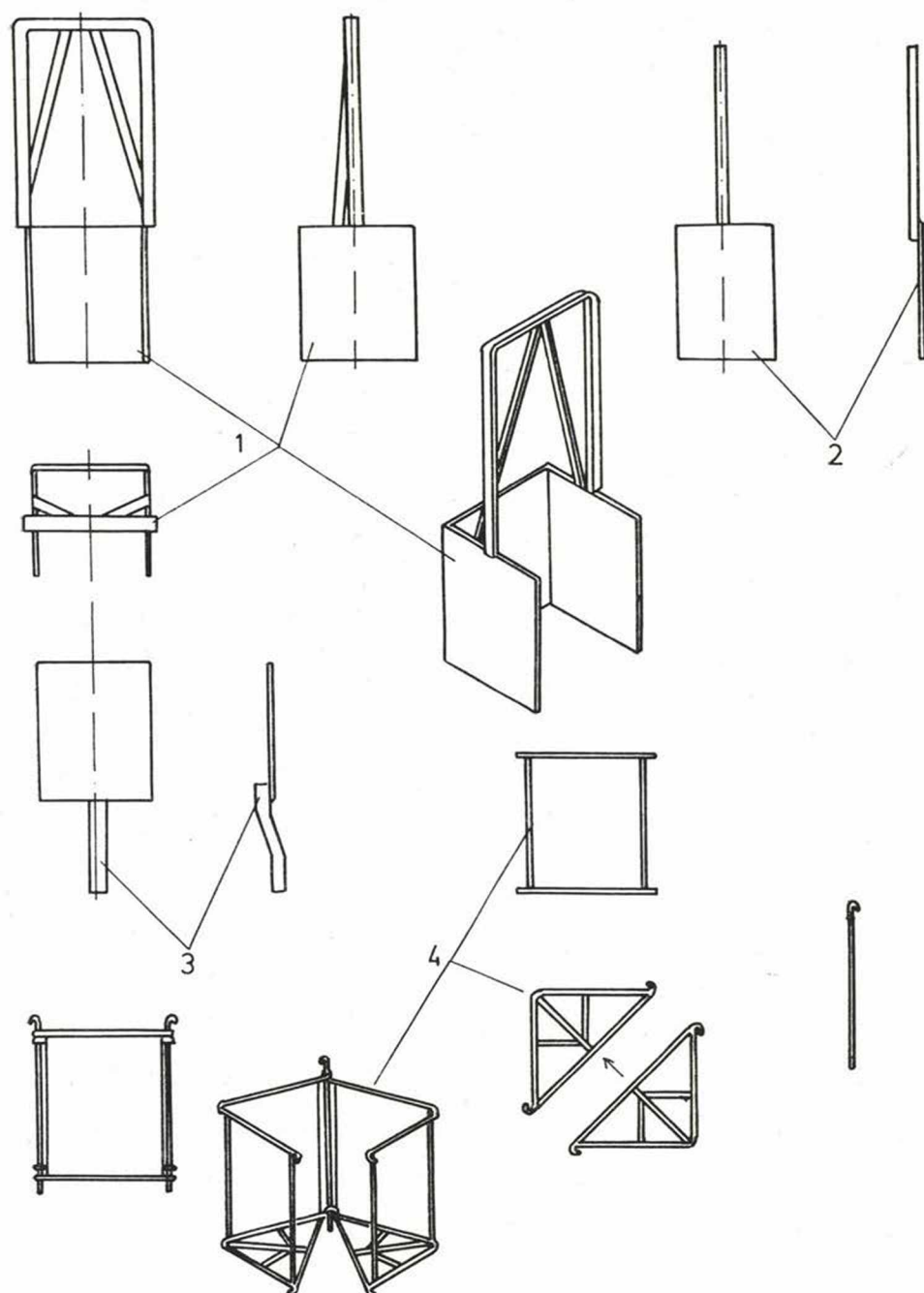


Abb. 2. 1 Wurzelmonolithnehmer, 2 Seitenkantenschneider, 3 unterer Kantenschneider, 4 Sieb

zusammenhängenden Seiten aus 5 mm dickem Eisenblech und einem seitlichen sowie einem unten einführbaren Kantenschneider. Der auch die Festigkeit des Probennehmers sichernde, aus 25 mm starken Vierkanteisen gefertigte Stiel ermöglicht das Einschlagen des Probennehmers sowie auch das aus den tieferen Bodenniveaus erfolgende Herausnehmen der Bodenmonolithe (Abb. 2. 1–3). Zur Probeentnahme sind zwei Personen benötigt. Ihre Leistung ist bei bindigem Boden 2–4, bei lockerem Boden 4–6 Bodenmonolithe pro Stunde.

Der mit dem Probennehmer herausgehobene Bodenmonolith wurde auf ein ähnlich großes, aus 3×3 mm dichten Kupfernetz gefertigtes, diagonal zerlegbares Sieb gelegt (Abb. 2. 4). Um die ursprüngliche Lage der Wurzeln im Boden bewahren zu können, stechen wir vor dem Auswaschen durch den im Sieb befindlichen Bodenmonolith (40 cm lange und 2–3 mm dicke) Stahlnadeln in die Kreuzungspunkte eines Raumgitters in der nötigen Menge und der mit den Stahlnadeln befestigte Bodenmonolith kommt — im Falle eines bindigen Bodens nach einer 2–3stündigen Vorfeuchtung — in eine Auswascheinrichtung. In solchen Fällen, wo im Bodenmonolith die Lage der Wurzeln die raumgitterartige Fixierung nicht ermöglicht (Rasen, dichtgesäte Pflanzenbestände), modifiziert sich diese Arbeitsphase derart, daß wir die Bodenmonolithe sektionieren und in einem Kunstfasernetz in die Auswascheinrichtung einsetzen.

In unsere Wurzel auswascheinrichtung können — in der beschriebenen Weise — im Falle einer raumgitterartigen Fixierung und der etwa 2–3stündigen Vorfeuchtung des bindigen Bodens aus dem vorbereiteten Monolith zwei Stücke eingelegt werden. Ihr Funktionsprinzip

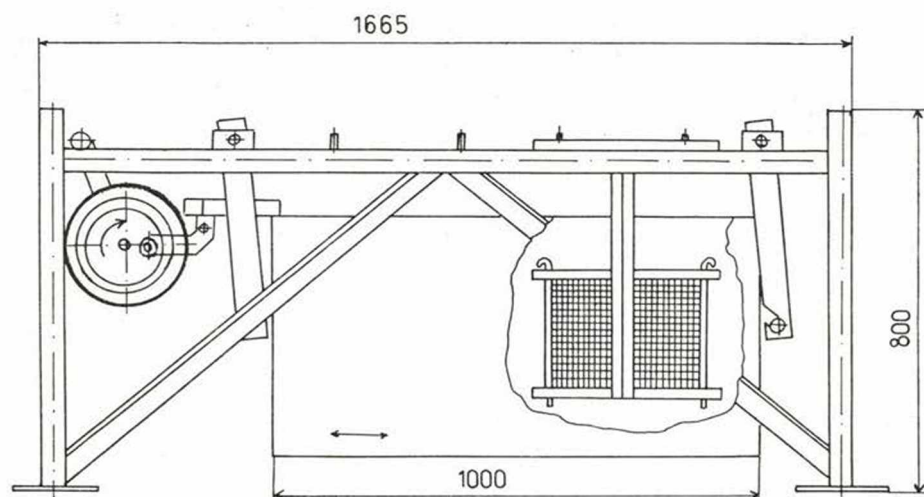


Abb. 3. Wurzel auswascheinrichtung

besteht darin, daß die Monolithe fixiert und in ein mit Wasser gefülltes Gefäß eingetaucht sind, dessen Inhalt sich alternierend bewegt. Die aus den Monolithen ausgewaschenen Bodenteilechen bilden mit dem Spülwasser eine trübe Suspension, die durch die auf dem Boden des Gefäßes vorhandenen Ablassöffnungen zeitweise entfernt werden kann (Abb. 3).

Die Kapazität der Auswascheinrichtung stimmt mit der Leistung der die Monolithaushebung bewerkstellenden zwei Personen überein.

Nach dem Auswaschen können die mit Stahlnadeln fixierten Wurzeln, nach dem Öffnen des Siebes nach Belieben zur Durchführung der weiteren Messungen in Schichten sektioniert werden. Bei Massenmessungen wurden die Wurzeln nach ihrer Sektionierung, nachdem das Wasser von ihrer Oberfläche mit Fließpapier entfernt wurden, in rohem Zustand gemessen. Demfolgend haben wir die einzelnen Sektionen bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrocknet und von neuem gemessen. Die gewonnenen quantitativen Daten können in weitem Kreise zur Charakterisierung der unter der Oberfläche vorhandenen Phytomassen von Pflanzenbeständen und zum Nachweis der zweckmäßig ausgewählten ökologischen oder agrotechnischen Einwirkungen angewandt werden.

Zusammenfassung

Die bekanntgegebene Versuchsmethode ermöglicht das je nach Belieben gewählte sektionsmäßige Messen der Wurzelmasse (unterirdische Phytomasse) der natürlichen Kulturpflanzenbestände sowohl bei breitem wie auch bei dichtem Reihenabstand der Bestände.

Im Interesse des Zieles haben wir einen Bodenmonolithnehmer von der Form einer viereckigen Säule mit 10 dm³-Volumen gefertigt und das System der Probeentnahme bestimmt (Abb. 1,2).

Es wurde das mechanisierte Auswaschen der herausgehobenen Bodenmonolithe unter solchen Bedingungen gelöst, daß sich die ursprüngliche räumliche Lage der in dem Monolith befindlichen Wurzeln nicht verändert. Die ausgewaschenen Wurzelproben können nach Belieben sektioniert werden und sind für eine quantitative Auswertung geeignet.

Die Anwendung der bekanntgegebenen Methode ermöglicht, daß wir bezüglich der speziellen Verteilung der unterirdischen Phytomasse Angaben erhalten, eventuell auch die die Wurzelentwicklung beeinflussenden Wirkungen gewisser wesentlicher agrotechnischer Faktoren (Bewässerung, Anbautiefe, Anbaufläche, Kunstdüngerniveau usw.) nachweisen.

Die Wurzeluntersuchungen mit der gleichzeitigen Untersuchung der oberflächlichen Phytomasse verbunden, bietet sich die Möglichkeit zur Analyse einer außerordentlich vielseitigen Wechselwirkung.

SCHRIFTTUM

- Dittmer, H. J. 1927. A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (*Secale cereale*). Amer. Journ. of botany. **24**:
- Dittmer, H. J. 1938. A comparative study of the subterranean members of three grasses. Science. **88**.
- Koltay A. — Présényi I. 1953. Mesterséges fűtársításokban végzett gyökérvizsgálatok eredményei (Ergebnisse der an künstlichen Grasvergesellschaftungen durchgeführten Wurzeluntersuchungen). Növénytermesztés. **5**. 51–60.
- Kovács A. — Gáspár Z. 1974. Fitotömeg vizsgálatok öntözött és öntözetlen kukoricaállományban. (Phytomassenuntersuchungen in begossenem und unbegossenem Maisbestand). Növénytermelés. **23**: 229–237.
- Kovács A. — Gáspár Z. 1974. Produktív vizsgálatok öntözött és öntözetlen kukorica állományban (Produktionsuntersuchungen in begossenem und unbegossenem Maisbestand). Abstracta Bot. Budapest. **2**: 121–132.
- Kovács A. — Gáspár Z. 1975. Produktív vizsgálatok öntözött és öntözetlen őszi búza állományban az 1974-es tenyészidőben (Produktionsuntersuchungen in einem begossenem und unbegossenem Winterweizenbestand in der Vegetationsperiode des Jahres 1974). Növénytermesztés **24**: 149–157.
- Metody isutschenija produktivnosti kornowych sistem i organizmow risosfery. AN SSSR. Meshdunarodn. Symposium. 1968.
- Présényi I. 1976. Terrestrial növényi produktív-tanulmányok néhány módszertani kérdése (Einige methodologische Fragen der Studien über terrestrische Pflanzenproduktion). Bot. Közlem. **54**.
- Rotmistrov W. G. 1910. Kornewaja sistema y odnoletnich kulturnych rastenii (s analizom gradkovo kulture Demkitschinskogo). Odessa.
- Salit M. S. 1960. Metodika isutschenija podzemnykh tschastei rastenii. Polewaja Geobotanika. II. M. — L.
- Stoecler J. H. — Klüender W. A. 1939. The hydraulic method of excavating the root systems of plants. Ecology. **19**:
- Taranowskaja M. G. 1957. Metody isutschenija kornowych sistem. Selchosis. M. — L.
- Tharp B. C. — Müller C. H. 1940. A rapid method for excavating root systems of native plants. Ecology **21**.
- Troughton A. 1957. The underground organs of herbage grasses. Comm. Bur. Pastures a Field crops. Bull. **44**.
- Weaver J. E. 1919. The ecological relation of roots. Carnegie Inst. of Washington. Publ. Nr. 286.
- Weaver J. E. — Voigt J. W. 1950. Monolith method of root Sampling in studies on succession and degeneration. Botan. Gazette **111**.